

ТЯГА И УДЕЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ ВОЗДУХА

П. В. Чекан, П. И. Веренич, А. Н. Чумаков

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

E-mail: chekan@imaph.bas-net.by

Лазерно-плазменный двигатель (ЛПД) малой тяги рассматривается в настоящее время в качестве перспективного средства для коррекции орбит микро- и наноспутников и их ориентации в пространстве [1–4]. Управлять такими космическими аппаратами можно лишь малыми единичными импульсами тяги, которые практически недоступны для стационарных электрореактивных двигателей. На основании результатов предварительных экспериментальных исследований [4] совместно с ФГУП ЦНИИМАШ был разработан и изготовлен экспериментальный образец лазерно-плазменного двигателя: на основе Nd:YAG-лазера с длиной волны $\lambda = 1,064$ мкм и на основе эрбиевого лазера с длиной волны $\lambda = 1,5$ мкм. Одними из основных критериев сравнения реактивных двигателей являются удельный импульс тяги $I_{\text{спец}}$, характеризующий эффективность использования рабочего тела, и тяга в единичном импульсе (усилие, которое развивает двигатель в направлении движения аппарата при испарении рабочего тела единичным лазерным импульсом).

Два прототипа ЛПД испытывались с разными рабочими телами: жидким сплавом индия с галлием и высокомолекулярной жидкостью на основе вакуумного масла с наполнителем, поглощающим лазерное излучение. Измерения проводились в откачанной вакуумной камере, при значениях пониженного давления ~ 53 и $\sim 0,13$ Па, что соответствует атмосферному давлению на высотах ~ 63 и ~ 110 км над уровнем моря. Для измерения тяги использовался прокалиброванный по оригинальной методике [5] пьезоэлектрический датчик импульсного давления. Результаты измерений тяги в единичном импульсе приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты измерений тяги ЛПД

Давление в вакуумной камере, Па	Тяга в единичном импульсе (импульс тяги), Н			
	ЛПД с эрбиевым лазером		ЛПД с Nd:YAG лазером	
	Рабочее тело – вакуумное масло с наполнителем	Рабочее тело – сплав In + Ga	Рабочее тело – вакуумное масло с наполнителем	Рабочее тело – сплав In + Ga
53	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
0,13	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$

Для измерения удельного импульса ЛПД в вакууме был реализован оптический метод измерения скорости плазмы на основе двух высокоскоростных фотодиодов с оптоволоконным вводом излучения, основанный на создании оптической проекции изображения плазменного сгустка на торцы оптоволоконных вводов фотоприемников с помощью фокусирующей линзы, находящейся вне вакуумной камеры, и определении временной задержки между сигналами обоих фотоприемников с учетом расстояния между ними. Измерение удельного импульса проводилось с рабочим телом на основе сплава индия с галлием при двух значениях остаточного давления воздуха в вакуумной камере. Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты измерения удельного импульса ЛПД

Давление в вакуумной камере, Па	Скорость разлета лазерной плазмы ЛПД, м/с	Удельный импульс ЛПД, с
53	35 651	3638
0,13	34 884	3560

Таким образом, в работе выполнены измерения тяги и удельного импульса двух прототипов лазерно-плазменного двигателя при двух значениях остаточного давления воздуха в вакуумной камере 53 Па и 0,13 Па, последнее из которых соответствует давлению воздуха на высоте ~110 км над уровнем моря и может считаться космическим вакуумом. Показано, что рабочее тело на основе высокомолекулярной жидкости обеспечивает более высокие значения тяги, чем жидкометаллический сплав галлия и индия, а эффективность преобразования энергии лазерного излучения в тягу лазерного микродвигателя уменьшается в 1,5–2 раза с понижением давления воздуха от 53 до 0,13 Па. Удельный импульс описанного лазерно-плазменного микродвигателя достигает значений ~3600 с и мало зависит от давления окружающего газа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Ф14М-132) и ГПНИ «Конвергенция» (задание 2.4.05).

1. *Antropov N. N. et al.* // Applied Physics Journal, 2002, № 1. С. 37.
2. *Phipps C. R., Luke J. R.* // AIAA Journal. 2002, V. 40, P. 310.
3. *Phipps C. R., Luke J. R.* // Laser plasma thruster. Patent 6530212 USA / 2003.
4. Любченко Ф. Н., Феденев А. В., Чумаков А. Н. и др. // VII Межд. симпозиум по радиационной плазмодинамике: Сб. тр. - М.: НИЦ "Инженер", 2006. С. 26.
5. *Петренко А. М., Чекан П. В., Чумаков А. Н.* // Plasma Physics and Plasma Technology VII International Conference, contributed papers. 2012. P. 712.